実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章 回路シミュレータSPICE入門（24）

今回は，マランツのプリアンプ#7と双璧をなすマッキントッシュC 22型プリアンプをシミュレーションします．

原回路[1]と動作点

イコライザ・アンプ部の回路図を**第1図**に示します．原回路を忠実に再現しました．NFBは2段目のプレートから初段のカソードに戻されています．3段目はカソード・フォロワで，3段目のカソードから2段目のカソードに330 kΩを介し，正帰還が掛っています．

原回路図には各部のDC電圧が表記されています．初段のプレート電圧は144 V，2段目のプレート電圧は148 Vです．シミュレーション結果は，初段が155.879 V，2段目が165.026 Vです．なお，12 AX 7はKoren氏のデバイス・モデルを用いました．誤差は真空管の特性のばらつきの範囲でしょう．

帰還回路網の定数

帰還回路網は複雑です．こんな回路定数で果たしてRIAA特性になるのか，やや疑問です．シミュレーションで，周波数特性を確認しましょう．

RIAA偏差を見るため，逆RIAA特性回路を挿入します（前号参照）．前号では，R 18とR 19を同じ値（1 kΩ）としましたが，今回は逆RIAA回路の1 kHzのゲインを0 dBとするため，R 18の値を9.89808 kΩにしています．逆RIAA回路の増幅器（LAP 4，LAP 5，LAP 6）はアナログ・ビヘイビア・モデルです．モデルの設定方法は，前号を参照してください．

RIAA偏差のシミュレーション結果を**第2図**に示します．やはり妙なカーブです．

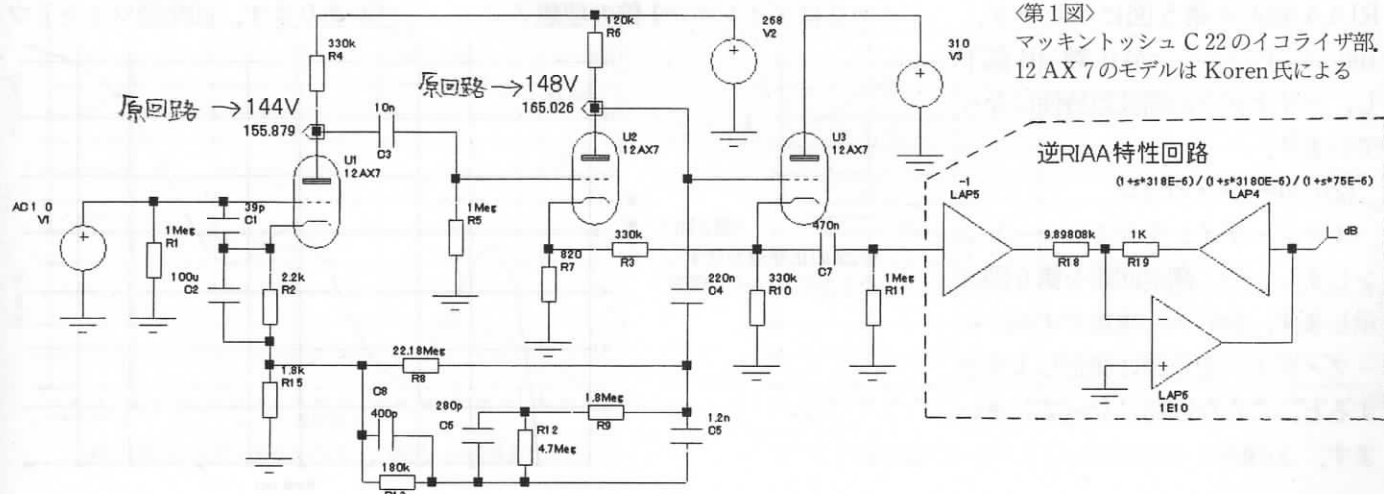
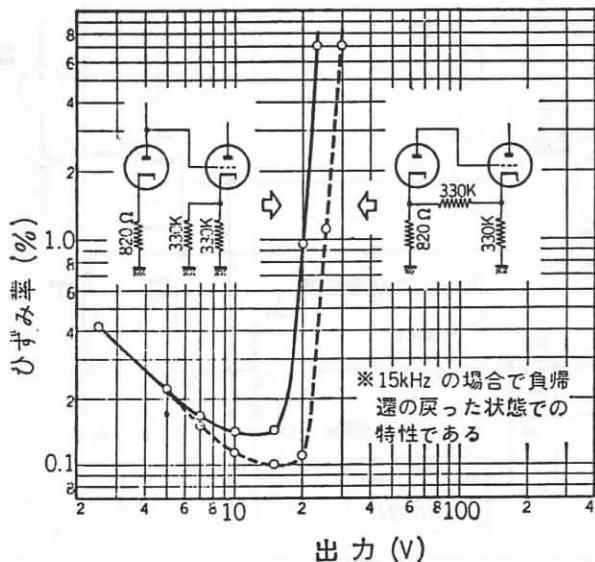
20 Hz：+0.2 dB
30 Hz：+0.4 dB
100 Hz：−0.1 dB
1 kHz：0.0 dB
20 kHz：+0.3 dB

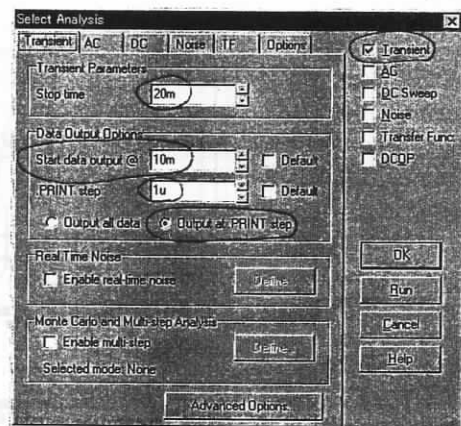
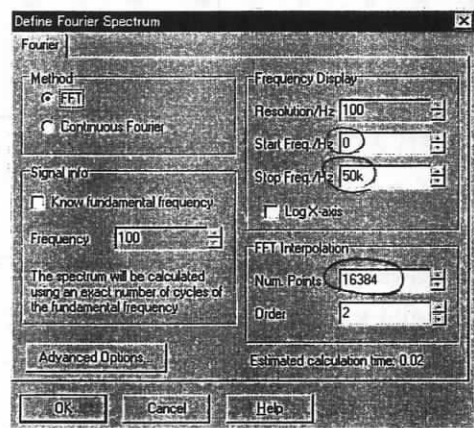
となっています．

ちなみに，マランツ#7のRIAA偏差を**第3図**に示します．45 Hz～20 kHzの範囲では±0.1 dB以内に入っています．しかし20 Hzは−1.5 dB落ちています．

(1) 正帰還の効果

C 22のイコライザ・アンプの正帰還の目的は何でしょう？　これは真空管オペアンプK 2-Wと同じ目的，すなわちオープン・ループ・ゲ

〈第1図〉
マッキントッシュC 22のイコライザ部．12 AX 7のモデルはKoren氏による

◀〈第9図〉
上杉氏の発表したK-K正帰還の効果（本誌'69年10月号p.105第7図）

〈第11図〉▶
過渡解析の設定

〈第12図〉▶
フーリエ解析の設定

のかも知れません．

ひずみ率特性

上杉佳郎氏が本誌1969年10月号に発表されたマッキントッシュC22クローン製作記事によりますと，カソード・フォロワのカソードから2段目のカソードに掛けられた正帰還によって，15 kHzのクリッピング・レベルが約5Vほど大きくなった，と報告されています(2)(第9図)．

シミュレーションで確かめてみましょう．まず**第10図**の回路で過渡解析を実行したあと，フーリエ解析を実行します．入力電圧V1は片ピーク振幅=1V，周波数=15 kHzのサイン波に設定します．

(1) 過渡解析の設定

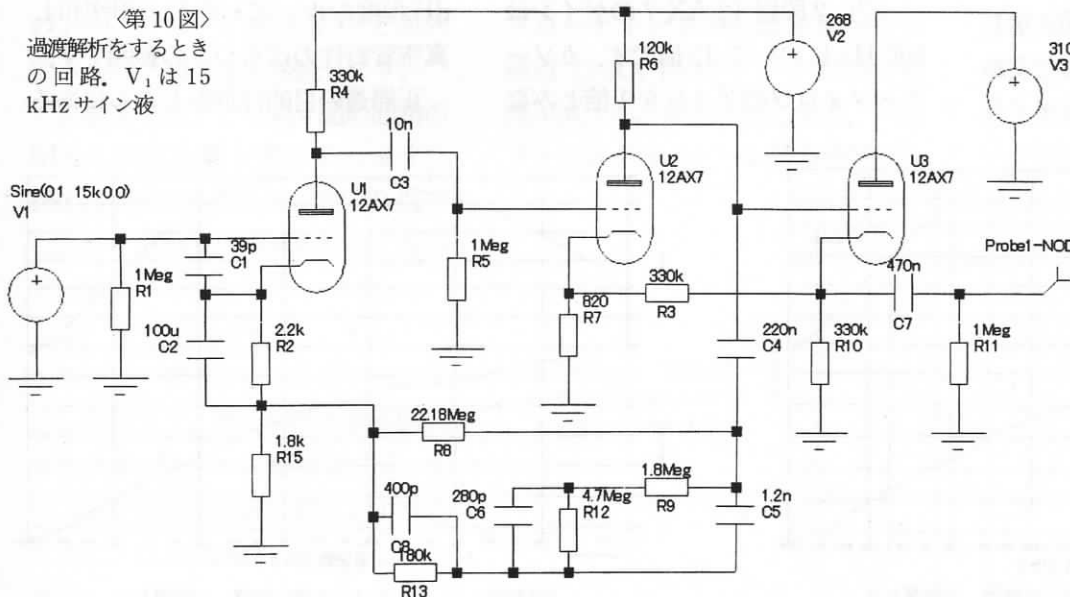
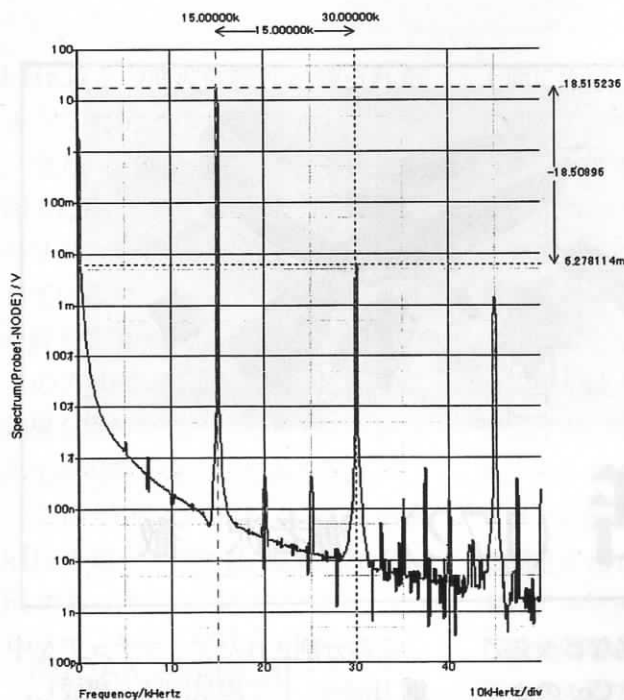
第11図のように設定します．Start data output@を10 msに設定し，0〜10 msのデータ出力を禁止します．これは，入力信号が加わってから約10 msの期間は，過渡的に動作点が変化するためです．

.PRINT stepは1 μsに設定します．そしてOutput at .PRINT stepを選択します．

(2) 過渡解析の実行

内部解析は時刻0からスタートしますが，10 msに達するまではデータ出力を止めているので，グラフはすぐには表示されません．数秒経過後にグラフが現れます．過渡解析が終了したら，回路図ウィンドウのメニューの［Probe］→［Fourier］→［Probe voltage custom...］をクリックします．オシロスコープのプローブの形をしたカーソルが現れるので，**第10図**の出力端子の配線にカーソルを当て，クリックします．

すると，フーリエ解析の設定ダイアログボックス（**第12図**）が現れるので，図のように編集します．すなわちX軸の周波数範囲を0〜50 kHz，FFT点数=16384とします．設定がすんだら［OK］ボタンをクリックします．すぐにフーリエ解析結果（**第13図**）が表示されます．もし解析結果を表示するグラフが見えないときは，回路図ウィンドウのサイズを縮小してください．グラフが現れます．

〈第10図〉
過渡解析をするときの回路．V_1は15 kHzサイン波

◀〈第13図〉フーリエ解析の結果

〈第14図〉▶ 第10図の回路および正帰還をはずしたとき回路のひずみ率特性 周波数は15 kHz

第13図から，基本波成分＝18.51 V，第2調波成分＝6.278 mVと読み取れます．したがって第2調波ひずみ率＝0.034%と算出されます．出力電圧は18.51/1.414＝13.09 V_{rms}です．

同様にして，**第10図**のV1の振幅を変えてシミュレーションすると，第2調波ひずみ率対出力電圧特性（**第14図**）を描くことができます．

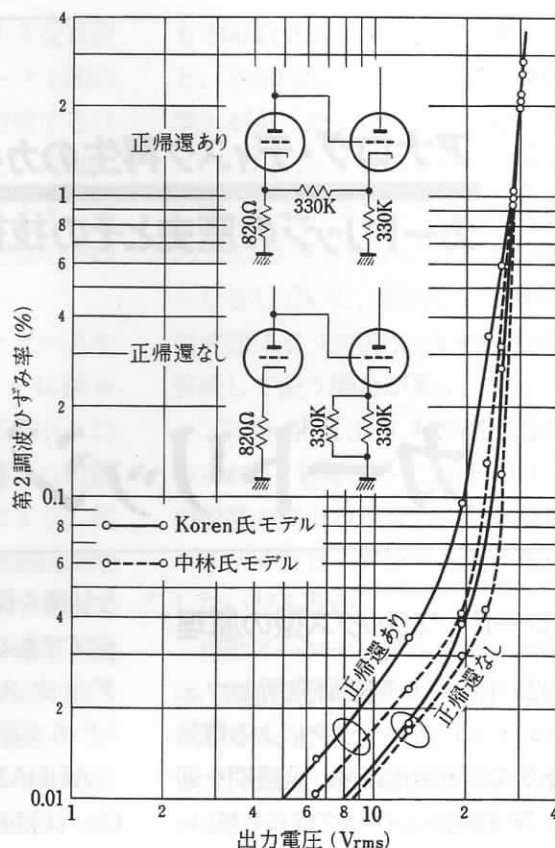
つぎに帰還抵抗R3/330Kをアースに落して正帰還をはずした回路で，同様に過渡解析とフーリエ解析を実行すると，正帰還がないときの第2調波ひずみ率対出力電圧特性（**第14図**）を描くことができます．なお，**第14図**の実線曲線は，12AX7のデバイス・モデルとしてKoren氏のモデルを使用した場合で，破線曲線は中林歩氏のモデルを使用した場合です．

上杉氏の実測特性（**第9図**）は，正帰還をかけたとき，出力クリッピング・レベルが約5 V_{rms}増加していますが，ひずみ率が1%になる出力電圧は，正帰還の有無にかかわらず29 V_{rms}です．

Koren氏モデルの場合，ひずみ率＝0.1%の出力電圧は，正帰還ありで約20 V_{rms}，正帰還なしで約25 V_{rms}です．上杉氏の実測特性とまったく逆です．中林氏モデルの場合も，正帰還のない方がひずみ率＝0.1%の出力電圧が大きくなっています．

ちなみに，中林氏の12AX7モデルを用いたときの初段12AX7のDCプレート電圧は143.176 V，2段目12AX7のDCプレート電圧は152.851 Vです．**第1図**に示すように，原回路図に記載された初段のDCプレート電圧は144 Vで，2段目は148 Vでから，中林氏のモデルは，Koren氏のモデルよりさらに正確だろうと思います．

このようにシミュレーション結果は，上杉氏の実測特性とまったく合いません．その原因はつぎのどちらかでしょう．

①12AX7のデバイス・モデルの精度が不十分で，実際の真空管の特性を正確に反映していない．

②上杉氏の測定された回路は，たまたま**第9図**のようになった．

なお，**第9図**の測定回路は，マッキントッシュ社の純正C22なのか，上杉氏の製作されたイミテーション機なのか，記事では明確ではありません．ちなみに，上杉氏のイミテーション機（ラジオ技術1969年10月号p.102第1図参照）は，2段目12AX7のプレート抵抗が100 kΩで，実測プレート電圧＝170 VDC，実測B電圧＝260 Vとなっており，C22原回路図の値と若干の相違があります．

第9図と**第14図**の特性差の原因をはっきりさせるため，諸兄の実機による追試実験をお願いしたいと存じます．

■引用文献

(1) マッキントッシュC22原回路図（http://ww.berners.ch/McIntosh/en/Matrix.htm からダウンロードできます）

(2) 上杉佳郎「マッキントッシュC22日本版！ 12AX7×6高性能高信頼度ステレオ・プリアンプの製作」ラジオ技術1969年10月号p.105，第7図．